

**(19) C2 (11) 97171 (13) UA**

(98) а/с 32, м. Київ, 01042

(85) 2010-03-23

(74) Боровик Петро Антонович, (UA)

(45) [2012-01-10]

(43) [2010-04-26]

(24) 2012-01-10

(22) 2008-07-31

(12) Патент України (на 20 р.)

(21) а201003390

(46) 2021-10-20

(86) 2008-07-31 PCT/RU2008/000498

(30) 2007131786 2007-08-22 RU

(54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ СКРАПЛЕННЯ ТА СЕПАРАЦІЇ ГАЗІВ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СЖИЖЕНИЯ И СЕПАРАЦИИ ГАЗОВ DEVICE FOR LIQUEFACTION AND SEPARATION OF GASES

(56) RU 2167374 C1, 10.04.2009 2 RU 2143654 C1, 27.12.1999 2 US 5306330 A, 26.04.1994 2 US 3528217 A, 15.09.1970 2

(71) СА ТРАНСЛЕНГ ТЕКНОЛОДЖИ ЛТД СА ТРАНСЛЕНГ ТЕКНОЛОДЖИ ЛТД СА TRANSLANG TECHNOLOGY LTD

(72) RU Алферов Вадім Івановіч RU Алферов Вадим Иванович RU Alferov, Vadim Ivanovich RU Багіров Лев Аркадієв іч RU Багіров Лев Аркадьевич RU Bagirov, Lev Arkadievich RU Дмитрієв Леонард Макарович RU Дмитриев Леонард Макарович RU Dmitriev Leonard Makarovich RU Имаєв Салават Зайнетдінович RU Имаев Салават Зайнетдинович RU Imaev, Salavat Zainetdinovich RU Фейгін Владімір Ісааковіч RU Фейгин Владимир Исаакович RU Feugin, Vladimir Isaakovich

h

(73) СУ ЗС ГАЗ ТЕКНОЛОДЖИЗ ЛІМІТЕД

Изобретение относится к криогенной технике. Устройство для скрапления и сепарации газов или выделения одного либо нескольких газов из их смеси содержит последовательно соосно установленные форкамеру (1) с расположенным в ней средством (2) для закручивания газового потока, дозвуковое или сверхзвуковое сопло (3) с присоединенной к нему рабочей частью (4), к которой присоединено средство (5) для отбора жидкой фазы, дозвуковой диффузор (7) или комбинацию сверхзвукового (6) и дозвукового диффузоров (7). Сопло (3) выполнено из соотношения плоскостей поперечных сечений входа и выхода и минимального сечения сопла, обеспечивающих на его выходе достижение статического давления и статической температуры, соответствующих условию конденсации газа либо целевых компонентов газовой смеси. Длина рабочей части (4) выбрана из условия обеспечения формирования капель конденсата с размером, превышающим 0,5 мк, и их дрейфа под действием центробежных сил от осевой зоны рабочей части к стенкам средства отбора капель, а угол раскрытия рабочей части 4 - таким, который обеспечивает поддержание в ней условий конденсации газа или его целевых компонентов. Устройство оснащено дополнительным соплом (8), установленным в форкамере. Технический результат заключается в повышении эффективности сепарации.

Винахід належить до криогенної техніки. Пристрій для скраплення і сепарації газів або виділення одного або декількох газів з їх суміші містить послідовно співвісно встановлені форкамеру (1) з розміщеним у ній засобом (2) для закручення газового потоку, дозвукове або надзвукове сопло (3) з приєднаною до нього робочою частиною (4), до якої приєднаний засіб (5) для відбору рідкої фази, дозвуковий дифузор (7) або комбінацію надзвукового (6) та дозвукового дифузоров (7). Сопло (3) виконане зі співвідношеннями площин поперечних перерізів входу та виходу і мінімального перерізу сопла, які забезпечують на його виході досягнення статичного тиску і статичної температури, які відповідають умові конденсації газу або цільових компонентів газової суміші. Довжина робочої частини (4) вибрана з умови забезпечення формування крапель конденсату з розміром, який перевищує 0,5 мк, та їх дрейфу під дією відцентрових сил від осьової зони робочої частини до стінок засобу відбору крапель, а кут розкриття робочої частини (4) - таким, що забезпечує підтримання у ній умов конденсації газу або його цільових компонентів. Пристрій обладнано додатковим соплом (8), встановленим у форкамері. Технічний результат полягає у підвищенні ефективності сепарації.

The invention relates to cryogenic engineering. The inventive device for liquefying and separating gas and for releasing one or more gases from a mixture thereof, comprises, in series axially positioned, a prechamber (1) with gas flow whirling means (2) arranged therein, a subsonic or supersonic nozzle (3) with a working segment (4), which is abutted thereto and to which liquid phase extracting means (5) is connected, and a subsonic diffuser (7) or the combination of a supersonic (6) and the subsonic diffuser (7). The nozzle (3) is designed in such a way that it makes it possible to achieve the ratios, between the inlet and outlet cross-sectional areas and the minimum cross-section thereof, which provides, at the output of the nozzle, a static pressure and a static temperature corresponding to the conditions of condensation of gas or target gas mixture components. The length of the working segment (4) is selected according to a condition of forming condensate drops with a size greater than  $0.5 \mu\text{m}$  and of drifting them, by centrifugal forces, from the axial area of the working segment to the walls of the drop extracting means, and the aperture angle of the working segment (4) is selected such as to maintain the conditions of condensation of the gas or the target components thereof. The device is provided with an additional nozzle (8) arranged in the prechamber. The invention makes it possible to increase the separation efficiency.

1. Пристрій для скраплення газу або виділення одного або декількох газів з їхньої суміші, що містить послідовно співвісно встановлені: форкамеру (1), з розміщеним у ній засобом (2) для закручення газового потоку, дозвукове або надзвукове сопло (3) із приєднаною до нього робочою частиною (4), до якої приєднаний засіб для відбору рідкої фази (5), дозвуковий дифузор (7) або комбінацію надзвукового (6) і дозвукового (7) дифузоров, при цьому сопло (3) виконано зі співвідношеннями площ поперечних перерізів входу і виходу та мінімального перерізу сопла (3), що забезпечують на його виході досягнення статичного тиску і статичної температури, які відповідають умові конденсації газу або його цільових компонентів, довжина робочої частини (4) є такою, що забезпечує формування крапель конденсату з розміром, більшим 0,5 мк, і їхній дрейф під дією відцентрових сил від осьової зони робочої частини (4) до стінок засобу відбору краплі (5), а кут розкриття робочої частини (4) є таким, що забезпечує підтримку умов конденсації газу або його цільових компонентів у ній; при цьому пристрій обладнано додатковим дозвуковим або надзвуковим соплом (8), установленим у форкамері (1).

2. Пристрій за пунктом 1, який **відрізняється** тим, що додаткове дозвукове або надзвукове сопло (8) виконано таким, що співвідношення площ вихідних перерізів основного (3) і додаткового (8) сопел становить величину

$$\frac{F_{\text{вих. основн сопла}}}{F_{\text{вих. дозв сопла}}} \approx 0,01 \dots 0,5.$$

3. Пристрій за пунктом 1, який **відрізняється** тим, що додаткове дозвукове або надзвукове сопло (8) встановлене у форкамері (1) співвісно або неспіввісно основному соплу (3).

4. Пристрій за пунктом 1, який **відрізняється** тим, що додаткове дозвукове або надзвукове сопло (8) установлене у форкамері (1) так, що вхід у нього розташований перед засобом (2) для закручення газового потоку або за ним, а вихід сопла (8) - тільки за засобом (2) для закручення газового потоку.

5. Пристрій за пунктом 4, який **відрізняється** тим, що вихід додаткового сопла розташований у форкамері.

6. Пристрій за пунктом 4, який **відрізняється** тим, що вихід додаткового сопла (8) розташований у дозвуковій або надзвуковій частині основного сопла (3).

7. Пристрій за пунктом 1, який **відрізняється** тим, що вхід додаткового сопла (8) з'єднаний із зовнішнім джерелом газу (12).

8. Пристрій за пунктом 1, який **відрізняється** тим, що він обладнаний газорідним сепаратором (10), вхід якого з'єднаний з виходом із засобу для відбору рідкої фази (5), а газовий вихід з'єднаний із входом додаткового сопла (8).

9. Пристрій за пунктом 1, який **відрізняється** тим, що площа вхідного перерізу основного сопла (3) перевищує площу його мінімального (критичного) перерізу не менш ніж у 10 разів.

Винахід належить до криогенної техніки та може бути використаний у різних галузях народного господарства для одержання зріджених газів, а також розподілу компонентів газових сумішей або виділення одного або декількох цільових компонентів.

Відомий пристрій для скраплення газу, що містить корпус у вигляді рупору, у якому послідовно розміщені декілька насадок, обладнані дисками з множиною сопел для адіабатичного розширення газу зі зниженням його температури до переходу частини газу в рідкий стан (див. JP №07071871, F25J 1/00, 1995). Недоліком відомого пристрою є його відносно малий ККД.

Відомий пристрій для одержання зрідженого газу, що містить надзвукове сопло, що використовує адіабатичне розширення газу для його охолодження та засіб для відбору рідкої фази, виконаний у вигляді відігнутого до осі ділянки сопла з перфорованими стінками. Під впливом виникаючих при відхиленні газового потоку відцентрових сил краплі газу, що сконденсувалися, проходять крізь перфорацію та надходять у приймач (див. патент US №3528217, НКВ 55-15, 1970).

Недоліком відомого пристрою є його відносно малий ККД. Це обумовлено тим, що при відхиленні надзвукового потоку, яке необхідно у відомому пристрої для відбору рідкої фази, виникають ударні хвилі, що приводять до підвищення температури газового потоку, що приводить, у свою чергу, до випару частини крапель, що вже сконденсувалися.

Крім того, мають місце втрати повного тиску у газі, що пройшов ударну хвилю. Зазначені втрати приводять до значного перепаду тиску між входом і виходом з пристрою.

Відомий пристрій для скраплення газу з патенту RU №2137065, F25J 1/00, 1999. Відомий пристрій містить сопло з форкамерою, у якій розміщений засіб для закручення газового потоку. Пристрій обладнано засобом для відбору рідкої фази, виконаним у вигляді кільцевої щілини, утвореної стінками сопла та порожнього конуса.

Недоліком відомого пристрою є його відносно малий ККД, що обумовлено втратою тиску в газовому потоці, що проходить через пристрій. Наприклад, при  $M=3,0$ , де  $M$  - число Маху надзвукового потоку, на вхід пристрою подається газ із тиском 200 атм, а з пристрою газ виходить із тиском 50 атм.

Найбільш близьким до заявленого по своїй технічній сутності та результату, що досягається, є пристрій для скраплення газу, відомий з опису до патенту RU №2167374, F25J 3/06, 2001. Відомий пристрій для скраплення газу містить сопло з форкамерою, з розміщеним у ній засобом для закручення газового потоку, при цьому пристрій обладнано встановленим на виході з робочої частини надзвуковим та/або дозвуковим дифузorzом і засобом для відбору рідкої фази, виконаним у вигляді перфорації в стінках сопла та/або кільцевої щілини, утвореної стінками сопла і вхідною ділянкою дифузора. Крім того, дозвуковий дифузorz обладнано засобом для випрямлення закрученого газового потоку, що встановлено в дозвуковому дифузorzі там, де осьова швидкість потоку відповідає  $M=0,25...0,45$ , де  $M$  - число Маху у даному середовищі. Винахід дозволяє підвищити ККД при здійсненні процесу скраплення газу, що досягається за рахунок зниження перепаду тиску між входом і виходом пристрою.

Пристрій, що заявляється у якості винаходу, спрямований на підвищення ефективності сепарації компонент газовой суміші або зрідженої частини газу шляхом виключення ефектів, що сприяють перемішуванню потоку в місцях відбору сепаруємої компоненти.

Зазначений результат досягається тим, що пристрій для скраплення та сепарації газів або виділення одного або декількох газів з їхньої суміші містить послідовно співвісно встановлені: форкамеру, з розміщеним у ній засобом для закручення газового потоку, дозвукове або надзвукове сопло з приєднаною до нього робочою частиною, до якої приєднано засіб для відбору рідкої фази, дозвуковий дифузorz або комбінація надзвукового та дозвукового дифузора, при цьому сопло виконане зі співвідношеннями площ поперечних перерізів входу та виходу до мінімального перетину сопла, які забезпечують на його виході досягнення статичного тиску та статичної температури, які відповідають умові конденсації газу або цільових компонентів газовой суміші. Довжина робочої частини обрана з умови забезпечення формування краплі конденсату з розміром більшим 0,5 мк та їхнього дрейфу під дією відцентрових сил від осьової зони робочої частини до стінок засобу відбору крапель, а кут розкриття робочої частини забезпечує підтримку в ній умов конденсації газу або його цільових компонент, при цьому пристрій обладнаний додатковим дозвуковим або надзвуковим соплом, встановленим у форкамері.

Зазначений результат досягається також тим, що додаткове дозвукове або надзвукове сопло виконане так, що співвідношення площ вихідних перетинів основного та додаткового сопла становить величину

$$\frac{F_{\text{вих. дод. сопла}}}{F_{\text{вих. основн. сопла}}} \approx 0,01...0,5.$$

Зазначений результат досягається також тим, що додаткове дозвукове або надзвукове сопло встановлене у форкамері співвісно або неспіввісно основному соплу.

Зазначений результат досягається також тим, що додаткове дозвукове або надзвукове сопло встановлене у форкамері так, що вхід у нього розташований перед засобом для закручення газового потоку або за ним, а вихід сопла тільки за засобом для закручення газового потоку. При цьому, вихід додаткового сопла може бути розташований як у форкамері, так і у дозвуковій або надзвуковій частині основного сопла.

Зазначений результат досягається також тим, що вхід додаткового сопла з'єднаний з додатковим джерелом газу.

Зазначений результат досягається також тим, що пристрій обладнано газорідним сепаратором, вхід якого з'єднаний з виходом із засобу для відбору рідкої фази, а газовий вихід з'єднаний із входом додаткового сопла.

Зазначений результат досягається також тим, що площа вхідного перетину основного сопла перевищує площу його критичного (мінімального) перетину не менш чим у 10 разів.

Зазначений результат досягається також тим, що за дозвуковим дифузorzом або в дозвуковому дифузorzі встановлено пристрій, що перетворює кінетичну енергію закрученого потоку в тиск. Обладнання форкамери пристрою засобом для закручення газового потоку необхідно для створення в газовому потоці відцентрових сил, під впливом яких відбувається відділення крапель, що сконденсувалися, від основного газового потоку.

Використання дозвукового дифузора або комбінації надзвукового та дозвукового дифузорові дозволяє підвищити ККД пристрою, тому що забезпечує зменшення необхідного перепаду тиску газового потоку між його входом у пристрій і на виході з нього. При цьому, залежно від числа Маху (M) потоку на виході з робочої частини, засіб для відновлення тиску виконується у вигляді дозвукового дифузора або комбінації надзвукового та дозвукового дифузорові. Так, якщо використовується в якості основного дозвукове сопло, то початкова ділянка після пристрою для відбору рідкої фази виконується у вигляді дозвукового дифузору з кутом напіврозкриття 3-6°. Якщо використовується в якості основного надзвукове сопло, то застосовується комбінація дифузорові - надзвукового та дозвукового, встановлених послідовно по ходу потоку, після пристрою для відбору рідкої фази. Вид основного сопла - дозвукове або надзвукове - вибирається залежно від термодинамічних параметрів газу, що скраплюється, або газової суміші (складу, тиску та температури на вході в пристрій, витрати, температури крапки роси та т.п.). Але у всіх випадках основне сопло повинне забезпечувати адіабатичне охолодження газу або газової суміші настільки, щоб забезпечити перехід його або його частини, бажано більшої, у рідку фазу.

Засіб для відбору рідкої фази може бути виконане в трьох різних варіантах: а) у вигляді перфорації на стінках сопла та/або його робочої частини на тих ділянках, де краплі, що сконденсувалися, досягають її стінок за рахунок відцентрових сил, викликаних закрученням потоку; б) у вигляді кільцевої щілини, утвореної стінками робочої частини та вхідною ділянкою дифузора, встановленою на виході робочої частини; в) у вигляді комбінації попередніх двох - перфорації стінок і кільцевої щілини.

Засіб для відбору рідкої фази може бути використаний в кожному із трьох зазначених вище варіантів -а) або б) або в) залежно від природи газу або складу газової суміші та швидкості газового потоку у соплі. У деяких випадках може бути кращим виконання засобу для відбору рідкої фази тільки у вигляді перфорації в стінках сопла та/або робочої частини. Залежно від термодинамічних параметрів потоку засоби для відбору рідини можуть розташовуватися і на початковій ділянці дозвукового дифузора.

Якщо ж використовувати і перфорацію, і кільцеву щілину, то, наприклад, можна використати запропонований пристрій для скраплення багатоконпонентних газів. Спочатку через перфорацію у стінках сопла та/або робочої частини буде видалятися газорідина суміш, збагачена компонентою, що конденсується при більш високій температурі, а потім через кільцеву щілину - збагачена компонентою з більш низькою температурою конденсації.

Виконання основного надзвукового або дозвукового сопла зі співвідношеннями площ поперечних перерізів входу та виходу до мінімального перетину сопла, що забезпечують на його виході досягнення статичного тиску і статичної температури, які відповідають умові конденсації газу або його цільових компонент, дозволяє підвищити ефективність сепарації шляхом виключення ефектів переохолодження або недоохолодження газу, а також ефектів, що приводять до перемішування потоку у місці відбору сепаруємої компоненти.

При сильному закрученні, необхідному для ефективної роботи пристрою, у форкамері навколо осі виникають зворотні та вторинні течії, формуються прецесуючі вихрові утворення. Все це приводить до появи нестійкостей течії у тракці установки. Крім того, залежно від типу закручення, від неї у потоці виникають різного виду вихрові сліди. Так, наприклад, при установці лопаткового завихрювача виникає розрив швидкості потоку на задній кромці лопатки. Аналогічний ефект має місце і при тангенціальному способі закручення вхідного потоку.

Підвищена завихренність потоку (уздовж лінії струму за кожною лопаткою з підвищеною завихренністю) приводить до збурювання потоку поблизу стінок, а також і прикордонного шару, що негативно позначається на процесі сепарації, викликаючи перемішування вже відсепарованих рідких компонентів з очищеним від них газом.

Для зменшення величини збурювань, внесених даними слідами за завихрювачами, доцільно використати ефект, названий авторами "ефектом підтискування потоку". Як було встановлено за допомогою розрахунків з використанням рівняння Бернуллі і проведеної потім експериментальної перевірки, при відношенні

$$\frac{F_1}{F_2} \approx 10 \dots 16,$$

де  $F_1$  та  $F_2$  відповідно площі вхідного та мінімального (критичного) перетину основного сопла, неоднорідності у полі швидкостей на виході з сопла зменшуються більш ніж на порядок.

Таким чином, виконання основного сопла з певними співвідношеннями площ поперечних перерізів входу та виходу до мінімального перетину сопла забезпечує на його виході досягнення статичного тиску та статичної температури, які відповідають умовам конденсації газу або його цільових компонент і дозволяє забезпечити термодинамічний режим для створення потрібної кількості центрів конденсації. Для створення потрібної кількості центрів конденсації необхідне переохолодження газу. Тому контур основного сопла обраний таким чином, що при течії газу в ньому після досягнення крапки роси газ додатково розширювався б до реалізації статичної температури на 20...50 °C меншої, чим температура крапки роси.

Більше сильне переохолодження, можливе при більшому числі Маху (M) потоку, приводить до більших втрат повного тиску або, іншими словами, до істотно більшого перепаду тисків між входом і виходом із пристрою.

Виконання робочої частини сопла з довжиною, що забезпечує формування крапель конденсату з розміром більшим 0,5 мк та їхній дрейф під дією відцентрових сил від осьової зони робочої частини до засобу відбору крапель, також дозволяє підвищити ефективність сепарації, оскільки вибір довжини робочої частини визначається швидкістю росту краплі, що залежить від термодинамічних параметрів середовища (температури, парціального тиску цільової компоненти, поверхневого натягу крапель та т. п.), а також газодинамічними характеристиками потоку: його швидкістю, спектром турбулентності, особливостями розподілу тиску по радіусі сопла та т. п. Довжина повинна бути достатньою для того, щоб при заданій швидкості потоку, обумовленої початковими термодинамічними параметрами газу та геометрією сопла, краплі могли б сформуватися та вирости до розмірів більших  $D > 0,5$  мк і, крім того, встигнути продифундувати до стінок робочої частини. Час формування крапель може бути отриманий з відомих у літературі даних. Швидкість дрейфу може бути визначена при заданому ступені закручення потоку також відомими методами.

Виконання кута розкриття робочої частини сопла, що забезпечує підтримку умов конденсації газу або його цільових компонентів у ній, підвищує ефективність сепарації за рахунок того, що обрано оптимальні

співвідношення між площами входу та виходу з основного сопла та площею його мінімального перетину, при яких статичні температури потоку та парціальний тиск цільової компоненти газу відповідає умовам максимальної швидкості росту крапель при мінімальному необхідному перепаді тисків на вході і виході з усього пристрою. Кут розкриття робочої частини сопла обраний з умови збереження цих умов. При цьому враховується ріст прикордонного шару на стінках.

Обладнання пристрою додатковим дозвучковим або надзвучковим соплом і установка його у форкамері дозволяє підвищити ефективність сепарації, оскільки дозволяє істотно підвищити стійкість потоку. Із проведених дослідів і даних літератури відомо, що певна частина вихрового потоку, розташована навколо осі пристрою, нестійка та прецесує відносно осі пристрою, приводячи тим самим до збурювання потоку і погіршення процесу сепарації. При вдюванні незавихреного струменя у центральну область потоку, наприклад, дозволяє його стабілізувати і виключити тим самим ефект прецесії.

Положення місця вдювання струменя з додаткового сопла в основний потік (форкамера, дозвучкова або надзвучкова частина основного сопла) залежить від інтенсивності закручення, термодинамічних параметрів потоків в основному і додатковому соплі та співвідношенням їхніх витрат.

Виконання додаткового сопла таким, що співвідношення площ вихідних перетинів додаткового сопла до основного становить величину 0,01...0,5, дозволяє оптимізувати умову сепарації цільових компонентів. Вибір зазначених геометричних розмірів обумовлений спостережуваними на досвіді співвідношеннями. При цьому, якщо зазначене співвідношення буде менше, ніж 0,01, то ефективність сепарації знижується, тому що у цьому випадку ефект стабілізації положення осі потоку не виникає. Якщо ж це співвідношення перевищує 0,5, то також спостерігається зниження ефективності сепарації, обумовлене тим, що при такій інтенсивності подачі газу у ядро вихору відбувається ослаблення інтенсивності вихору та зменшення відцентрових сил і, отже, ефект сепарації.

В окремих випадках реалізації додаткове дозвучкове або надзвучкове сопло може бути встановлене у форкамері співвісно або неспіввісно основному соплу. У випадку співвісної установки сепарація здійснюється більш ефективно завдяки стабілізації положення осі потоку. Неспіввісна установка додаткового сопла дозволяє за певних умов краще впливати на нестійкість вихрового плиню.

При цьому додаткове сопло може бути встановлене у форкамері в різних варіантах. В одному випадку вхід у нього може розташовуватися перед засобом для закручення газового потоку. У другому випадку вхід може бути розташований за засобом для закручення потоку. При цьому в обох випадках вихід додаткового сопла може розташовуватися тільки за засобом для закручення газового потоку. У тому випадку, коли вхід у додаткове сопло розташований перед пристроєм, що закручує, а вихід з нього за ним, у завихрений потік подається незавихрений струмінь газу, що стабілізує вихровий потік. Цей випадок, як правило, відповідає випадку використання інтенсивного початкового закручення. При застосуванні менш інтенсивного початкового закручення може виявитися більше вигідним використання для стабілізації потоку вже закрученого струменя. У цьому випадку вхід у додаткове сопло розташовується за пристроєм, що закручує. При цьому вихід з додаткового сопла може перебувати як у форкамері, так у дозвучковій або надзвучковій частині основного сопла.

З'єднання входу додаткового сопла з додатковим джерелом газу може підвищувати ефективність сепарації, оскільки у цьому випадку може бути використане істотно більше високий повний тиск і, відповідно, більше щільний струмінь із більшою швидкістю, який, якщо буде потреба, забезпечить більше тверду стабілізацію потоку.

Обладнання пристрою для скраплення і сепарації газів газорідним сепаратором, вхід якого з'єднаний з виходом із засобу для відбору рідкої фази, а газовий вихід з'єднаний із входом додаткового сопла, забезпечує підвищення ефективності сепарації за рахунок того, що у центральну частину вихрової зони надходить газ із газорідного сепаратора з високою концентрацією сепаруємої компоненти з однієї сторони і з більш низькою температурою з іншої, що сприяє утворенню у ньому кластерів, що є зародками крапель. Більше висока концентрація цільового сепаруємої компоненти у газі, що надходить в додаткове сопло, обумовлена тим, що у газорідному сепараторі має місце термодинамічна рівновага і має місце фазова рівновага "газ-рідина". При цьому рідина складається, в основному, з цільового компонента. Більше низька температура газу, що надходить у додаткове сопло, обумовлена, в основному, ефектом Джоуля-Томсона, що має місце при розширенні газу в основному соплі, оскільки тиск у засобі для відбору компонента нижче, ніж на вході в основне сопло.

Для забезпечення можливості надходження газу з газорідного сепаратора на вхід додаткового сопла необхідно, щоб тиск на виході з додаткового сопла був менше, ніж статичний тиск у закрученому потоці в місці розташування виходу. Це досягається, наприклад, відповідним вибором інтенсивності закручення. Тобто завжди можна вибрати таку інтенсивність закручення, що тиск на осі потоку у області установки виходу сопла буде досить малим для створення перепаду, необхідного для подачі газу з газорідного сепаратора назад у потік.

Запропонована конструкція має істотну перевагу перед відомими, оскільки дозволяє виключити існуючу в газовій промисловості проблему віднесення рідини при підготовці газу до транспорту. Наприклад, у загальноприйнятих методиках виділення компонента, що конденсується, за допомогою турбодетандера або дроселя, весь охолоджений у цих пристроях газ надходить у газорідний сепаратор, де відбувається поділ двофазного потоку на газ і рідину. Потік газу надходить у трубопровід, але в цьому, підготовленому до транспортування газі, зберігається деяка кількість рідкого компонента через неповний поділ двофазного потоку. Це викликає значні труднощі при транспортуванні газу. Аналогічна проблема виникає при використанні для підготовки газу до транспорту надзвучкового сепаратора (див., наприклад, патент RU №2137065, патент RU №2167374). У цьому випадку, очищений газовий потік з надзвучкового сепаратора, перед направленням у трубопровід, з'єднується з газовим потоком з газорідного сепаратора, у якому відбувається поділ на газову і рідку фазу збагаченого газорідного потоку з надзвучкового сепаратора. У запропонованій конструкції ця проблема вирішується, тому що в трубопровід направляється тільки очищений газовий потік з надзвучкового сепаратора, а газовий потік з газорідного сепаратора надходить знову на вхід пристрою, що заявляється.

Виконання площі вхідного перетину основного сопла з перевищенням площі його мінімального (критичного) перетину не менше чим в 10 разів необхідно для того, щоб істотно зменшити маючі місце неоднорідності на вході в

основне сопло. Такі неоднорідності виникають через розміщення у форкамері пристроїв, що закручують привнесу ззовні турбулентність, від розташованих у трасі подачі газу різного роду пристроїв, таких як вентиля, засувки і т. п. Ефект підтискання дозволяє істотно зменшити неоднорідність потоку а, отже, і зменшити перемішування потоку, що негативно позначається на процесі сепарації крапель.

В окремих випадках реалізації доцільно за дозвуковим дифуззором або у ньому встановлювати пристрій, що перетворить кінетичну енергію закрученого потоку у тиск, тому що значна частина кінетичної енергії завихреного потоку міститься у його тангенціальних складових. У пристрої, що складається з комбінації надзвукового і дозвукового дифузоров, в енергію тиску переходить тільки поступальна складова швидкості, тому бажано використати пристрої для спрямлення. Відомо кілька типів пристроїв для спрямлення, одні з яких просто гасять тангенціальну складову швидкості (наприклад, сітки, хонейкомби та т. п.), інші перетворюють тангенціальну складову швидкості у тиск. Таким, наприклад, є апарат для спрямлення, виконаний у вигляді центрального тіла з розташованими на ньому лопатками, орієнтованими відповідним чином. Саме такого типу апарати варто встановити для підвищення ККД пристрою. Обладнання дифузора засобом для випрямлення закрученого газового потоку дозволяє перетворити кінетичну енергію його оберткового руху в енергію поступального, що у остаточному підсумку підвищує тиск газу на виході пристрою, і, отже, скорочує перепад тисків між входом і виходом, що також підвищує ККД пристрою.

Сутність пристрою, що заявляється, для скраплення і сепарації газів пояснюється прикладами його реалізації і кресленнями.

На Фіг.1 схематично показаний поздовжній переріз пристрою, охарактеризований у п. 1 формули зі співвісним розміщенням додаткового надзвукового сопла і розміщенням його входу перед засобом для закручення газового потоку, а виходу - у дозвуковій частині основного сопла, робочою частиною і системою надзвукового та дозвукового дифузоров.

На Фіг.2 схематично показаний поздовжній перетин форкамери пристрою, коли вхід у додаткове дозвукове сопло розміщений після засобу для закручення газового потоку, а його вихід у форкамері.

На Фіг.3 представлений поздовжній перетин форкамери пристрою з додатковим дозвуковим соплом, вхід у яке з'єднаний із зовнішнім джерелом газу, а вихід розташований у дозвуковій частині основного сопла.

На Фіг.4 схематично показане поздовжній перетин пристрою, обладнаний додатковим джерелом газу, у якості якого використаний газорідний сепаратор, газовий вихід якого з'єднаний із входом додаткового дозвукового сопла, вихід якого перебуває в дозвуковій частині основного сопла.

На Фіг.5 представлений поздовжній розріз пристрою з геометричними співвідношеннями характерних розмірів, що забезпечують гасіння пульсації потоку, що виникають від пристроїв, що закручують, і інших елементів трубопроводу.

На Фіг.6 схематично показано поздовжній перетин пристрою, охарактеризоване у п. 1 формули зі співвісним розміщенням додаткового дозвукового сопла і розміщенням його входу перед засобом для закручення газового потоку, а виходу у дозвуковій частині основного сопла і дозвуковим дифуззором.

#### Приклад 1

Один з варіантів реалізації пристрою для скраплення і сепарації газів, представлений на Фіг.1, містить послідовно і співвісно встановлені форкамеру 1 з розміщенням у ній засобом 2 для закручення газового потоку, надзвукове сопло 3 із приєднаною до нього робочою частиною 4, до якої у свою чергу приєднаний засіб для відбору рідкої фази 5. На виході сопла 3, за робочою частиною 4, установлені надзвуковий дифузор 6 і дозвуковий дифузор 7. У форкамері 1 пристрою встановлене додаткове надзвукове сопло 8, вхід якого обладнано пристроєм 9 регулювання витрати газу через додаткове сопло. При цьому вхід у додаткове сопло розташований перед засобом 2 для закручення газового потоку, а вихід з нього в дозвуковій частині основного сопла. Таке конструктивне рішення, як правило, застосовується при інтенсивному початковому закрученні. Засіб для відбору рідкої фази 5 з'єднано з газорідним сепаратором 10.

Пристрій працює в такий спосіб.

Газова суміш надходить у форкамеру 1, при цьому її основна частина проходить через пристрій, що закручує, 2, а інша частина надходить на вхід додаткового сопла 8 (регулювання витрати здійснюється пристроєм 9). Закручений потік надходить в основне сопло 3, де відбувається його адіабатичне розширення, що супроводжується зниженням тиску і температури. Характеристики сопла 3 (співвідношення площ поперечних перерізів входу і виходу до площі мінімального перетину) обрані, на підставі розрахунків таким чином, що на його виході досягається статичний тиск і статистична температура, які відповідають умові конденсації цільової компоненти, з урахуванням необхідного переохолодження (для створення потрібної кількості центрів конденсації).

При цьому, для забезпечення зменшення неоднорідностей потоку, що виникають на вході основного сопла, необхідно забезпечити виконання наступного співвідношення:

$$\frac{R_{\text{зовн.}}^2 - R_{\text{внут.}}^2}{R_{\text{кр.}}^2} \geq 10,$$

яке відповідає пункту 9 формули винаходу (див. Фіг.5).

Далі, закручений потік надходить у робочу частину 4, довжина якої обрана з умов забезпечення росту краплі до розмірів більших 0,5 мк і їхнього дрейфу, під впливом відцентрових сил, до її стінок. Кут розкриття робочої частини визначається як розрахунковим, так й експериментальним шляхом і обраний таким, щоб забезпечити підтримку умов для максимального росту крапель і компенсувати ріст прикордонного шару.

Напрямок частини потоку у вигляді незавихреного струменя через додаткове сопло стабілізує вихровий потік і забезпечує стійкість процесу у пристрої, чим сприяє підвищенню його ефективності.

Вибір дозвукового або надзвукового додаткового сопла визначається інтенсивністю закручення і пов'язаним з нею перепадом тисків між входом у додаткове сопло і виходом з нього. При високій інтенсивності закручення краще використання надзвукового сопла, а при низькій - дозвукового. При цьому повинне бути виконане

співвідношення,

$$\frac{F_{\text{вих. дод. сопла}}}{F_{\text{вих. основн сопла}}} \approx 0,01 \dots 0,5,$$

що відповідає пункту 2 формули винаходу, при цьому  $F_{\text{вих. дод. сопла}} = \pi r^2$ ;  $F_{\text{вих. основн сопла}} = \pi R_{\text{вих. осн}}^2$  (див. Фіг.5).

Газорідинний потік, що утворився поблизу стінок робочої частини, збагачений цільовою компонентою, надходить у засіб відбору 5 і далі, у газорідинний сепаратор 10, а збіднена цільовим компонентом газова суміш, проходячи через надзвуковий і дозвуковий дифузори 6 і 7, відповідно, виходить з пристроєм.

У даному прикладі використане основне надзвукове сопло 3. Тому для гальмування потоку і переведення його кінетичної енергії у тиск газовий потік послідовно проходить надзвуковий і дозвуковий дифузори. У першому з них відбувається гальмування потоку в системі ударних хвиль до звукової швидкості, а у другому дифузорі до швидкості, необхідної для подальшого транспортування газу. Вибір геометричних параметрів дифузоров (вхідних і вихідних перетинів, кутів їхнього розкриття) визначається з умови максимальної ефективності перекладу кінетичної енергії потоку у енергію тиску.

Таким чином, у результаті роботи пристрою, газова суміш, що надійшла в нього, розділяється на два потоки. Один - газовий, очищений від цільового компонента, і інший - газорідинний, збагачений цією компонентою, який, наприклад, направляється в газорідинний сепаратор 10, де розділяється на газову і рідку фази. Газовий потік з газорідинного сепаратора може бути об'єднаний з газовим потоком із пристрою або спрямований на вхід пристрою, як описано в прикладі 4.

#### Приклад 2

Один з варіантів реалізації пристрою для скраплення і сепарації газів, представлений на Фіг.2 (представлений тільки поздовжній перетин форкамери, інші елементи показані на Фіг.1), містить послідовно і співвісно встановлені форкамеру 1 з розміщеним у ній засобом 2 для закручення газового потоку, надзвукове сопло 3 із приєднаною до нього робочою частиною 4, до якої у свою чергу приєднаний засіб для відбору рідкої фази 5. На виході сопла 3, за робочою частиною 4, встановлені надзвуковий дифузор 6 і дозвуковий дифузор 7. У форкамері 1 пристрою встановлено за допомогою пілонів 13 додаткове дозвукове сопло 8, вхід якого обладнано пристроєм 9 регулювання витрати газу через додаткове сопло 8. При цьому вхід у додаткове сопло 8 розташований після засобу 2 для закручення газового потоку. Таке конструктивне рішення, як правило, застосовується при відносно слабкому початковому закрученні. Пристрій працює в такий спосіб.

Газова суміш надходить у форкамеру 1, при цьому її основна частина проходить через пристрій, що закручує, 2, а інша частина надходить на вхід додаткового сопла 8 (регулювання витрати здійснюється пристроєм 9). Закручений потік надходить в основне сопло 3, де відбувається його адіабатичне розширення, що супроводжується зниженням тиску і температури. Характеристики сопла 3 (співвідношення площ поперечних перерізів входу і виходу до площі мінімального перетину) обрані на підставі розрахунків, таким чином, що на його виході досягається статичний тиск і статистична температура, які відповідають умові конденсації цільової компоненти, з урахуванням необхідного переохолодження (для створення потрібної кількості центрів конденсації). Далі, потік, який закручено, надходить у робочу частину 4, довжина якої обрана з розрахунку забезпечення росту крапель до розмірів більших 0,5 мк і їхнього дрейфу, під впливом відцентрових сил, до її стінок. Кут розкриття робочої частини визначається як розрахунковим, так і експериментальним шляхом та обраний таким, щоб забезпечити підтримку умов для максимального росту крапель і компенсувати ріст прикордонного шару.

Напрямок частини потоку у вигляді завихреного струменя через додаткове сопло стабілізує вихровий потік і забезпечує стійкість процесу у пристрої, чим сприяє підвищенню його ефективності.

Вибір у цьому випадку дозвукового додаткового сопла визначається слабкою інтенсивністю закручення.

Газорідинний потік, що утворився поблизу стінок робочої частини, збагачений цільовим компонентом, надходить у засіб відбору 5 і далі, у газорідинний сепаратор 10, а збіднена цільовим компонентом газова суміш, проходячи через надзвуковий і дозвуковий дифузори 6 і 7 відповідно, виходить із пристроєм.

У даному прикладі використане основне надзвукове сопло 3. Тому для гальмування потоку і перекладу його кінетичної енергії у тиск газовий потік послідовно проходить надзвуковий і дозвуковий дифузори. У першому з них відбувається гальмування потоку в системі ударних хвиль до звукової швидкості, а в другому дифузорі до швидкості, необхідної для подальшого транспортування газу. Вибір геометричних параметрів дифузоров (вхідних і вихідних перетинів, кутів їхнього розкриття) визначається з умови максимальної ефективності перекладу кінетичної енергії потоку у енергію тиску.

Таким чином, у результаті роботи приладу, газова суміш, що надійшла в нього, розділяється на два потоки. Один - збагачений цільовою компонентою і інший - збіднений цією компонентою.

#### Приклад 3

Один з варіантів реалізації пристрою для скраплення і сепарації газів, представлений на Фіг.3 (представлено тільки поздовжній перетин форкамери і зовнішнє джерело газу, інші елементи показані на Фіг.1), містить послідовно і співвісно встановлені форкамеру 1 з розміщеним у ній засобом 2 для закручення газового потоку, надзвукове сопло 3 із приєднаною до нього робочою частиною 4, до якої у свою чергу приєднаний засіб для відбору рідкої фази 5. На виході сопла 3, за робочою частиною 4, встановлені надзвуковий дифузор 6 і дозвуковий дифузор 7. У форкамері 1 пристрою встановлене додаткове дозвукове сопло 8, вхід якого обладнаний пристроєм 9 регулювання витрати газу через додаткове сопло. Вхід у додаткове сопло з'єднаний за допомогою трубопроводу 11 із зовнішнім джерелом газу 12, у якості якого може бути використане кожне із числа відомих. Наприклад, це може бути вихід з якого або апарата, використовуваного для обробки газової суміші, газова або газоконденсатна шпара, і т. ін. При цьому вхід у додаткове сопло розташований перед засобом 2 для закручення газового потоку.

Пристрій працює в такий спосіб.

Газова суміш надходить у форкамеру 1 і проходить через пристрій, що закручує, 2. Інший газовий потік із

зовнішнього джерела газу 12, через трубопровід 11 надходить на вхід додаткового сопла 8 (регулювання витрати здійснюється пристроєм 9). Закручений потік надходить в основне сопло 3, де відбувається його адіабатичне розширення, що супроводжується зниженням тиску і температури. Характеристики сопла 3 (співвідношення площ поперечних перерізів входу і виходу до площі мінімального перетину) обрані, на підставі розрахунків, таким чином, що на його виході досягається статичний тиск і статична температура, які відповідають умові конденсації цільової компоненти, з урахуванням необхідного переохолодження (для створення потрібної кількості центрів конденсації). Далі, закручений потік надходить у робочу частину 4, довжина якої обрана з умов забезпечення росту крапель до розмірів більших 0,5 мк і їхнього дрейфу, під впливом відцентрових сил, до її стінок. Кут розкриття робочої частини визначається як розрахунковим, так й експериментальним шляхом і обраний таким, щоб забезпечити підтримку умов для максимального росту крапель і компенсувати ріст прикордонного шару.

Напрямок газового потоку з додаткового джерела газу у вигляді незавихреного струменя через додаткове сопло стабілізує вихровий потік і забезпечує стійкість процесу у пристрої, чим сприяє підвищенню його ефективності. Газ із додаткового джерела може містити деяку кількість рідкого компонента, краплі якого виступають як зародки, чим сприяють процесу конденсації і підвищують ефективність пристрою.

Газорідний потік, що утворився поблизу стінок робочої частини, збагачений цільовою компонентою, надходить у засіб відбору 5 і далі, у газорідний сепаратор 10, а збіднена цільовою компонентою газова суміш, проходячи через надзвуковий і дозвуковий дифузори 6 і 7 відповідно, виходить із пристрою.

У даному прикладі використане основне надзвукове сопло 3. Тому для гальмування потоку і переведення його кінетичної енергії у тиск газовий потік послідовно проходить надзвуковий і дозвуковий дифузори. У першому з них відбувається гальмування потоку в системі ударних хвиль до звукової швидкості, а в другому дифузори до швидкості, необхідної для подальшого транспортування газу. Вибір геометричних параметрів дифузори (вхідних і вихідних перетинів, кутів їхнього розкриття) визначається з умови максимальної ефективності переведення кінетичної енергії потоку в енергію тиску.

Таким чином, у результаті роботи пристрою, газова суміш, що надійшла в нього, розділяється на два потоки. Один - газовий, очищений від цільової компоненти, і інший - газорідний, збагачений цією компонентою, що, наприклад, направляється в газорідний сепаратор 10, де розділяється на газову і рідку фази. Газовий потік з газорідного сепаратора може бути об'єднаний з газовим потоком із пристрою або спрямований на вхід пристрою, як описано в прикладі 4.

#### Приклад 4

Один з варіантів реалізації пристрою для скраплення і сепарації газів, представлений на Фіг.4, містить послідовно і співвісно встановлені форкамеру 1 з розміщеним у ній засобом 2 для закручення газового потоку, надзвукове сопло 3 із приєднаною до нього робочою частиною 4, до якої у свою чергу приєднаний засіб для відбору рідкої фази 5. На виході сопла 3, за робочою частиною 4, установлені надзвуковий дифузор 6 і дозвуковий дифузор 7. У форкамері 1 пристрою встановлене додаткове дозвукове або надзвукове сопло 8, вхід якого обладнаний пристроєм 9 регулювання витрати газу через додаткове сопло. Вхід у додаткове сопло з'єднаний за допомогою трубопроводу 11 із зовнішнім джерелом газу 12, у якості якого використовується газовий вихід газорідного сепаратора 10. При цьому вхід у додаткове сопло розташований перед засобом 2 для закручення газового потоку. Пристрій працює в такий спосіб.

Газова суміш надходить у форкамеру 1, при цьому її основна частина проходить через пристрій, що закручує, 2, а інша частина надходить на вхід додаткового сопла 8 (регулювання витрати здійснюється пристроєм 9). Закручений потік надходить в основне сопло 3, де відбувається його адіабатичне розширення, що супроводжується зниженням тиску і температури. Характеристики сопла 3 (співвідношення площ поперечних перерізів входу і виходу до площі мінімального перетину) обрані на підставі розрахунків, таким чином, що на його виході досягається статичний тиск і статична температура, які відповідають умові конденсації цільового компонента, з урахуванням необхідного переохолодження (для створення потрібної кількості центрів конденсації). Далі, закручений потік надходить у робочу частину 4, довжина якої обрана з умов забезпечення росту краплі до розмірів більших 0,5 мк і їхнього дрейфу, під впливом відцентрових сил, до її стінок. Кут розкриття робочої частини визначається як розрахунковим, так і експериментальним шляхом та обраний таким, щоб забезпечити підтримку умов для максимального росту крапель і компенсувати ріст прикордонного шару.

Газорідний потік, що утворився поблизу стінок робочої частини, збагачений цільовою компонентою, надходить у засіб відбору 5 і далі, у газорідний сепаратор 10, а збіднена цільовою компонентою газова суміш, проходячи через надзвуковий і дозвуковий дифузори 6 і 7 відповідно, виходить із пристрою.

Газ із газорідного сепаратора 10 по трубопроводу 11 надходить на вхід додаткового сопла 8. Його витрата регулюється пристроєм 9.

Напрямок газового потоку з газорідного сепаратора на вхід додаткового сопла забезпечує рішення двох завдань. По-перше, як і у попередніх прикладах, незавихрений струмінь, що виходить із додаткового сопла, стабілізує вихровий потік і забезпечує стійкість процесу в пристрої. По-друге, оскільки газ, що виходить із газорідного сепаратора, завжди містить деяку кількість рідини, спрямування його в трубопровід може викликати складності при подальшому транспортуванні. Запропоноване рішення дозволяє знизити кількість рідини у підготовленому газі, чим сприяє підвищенню ефективності пристрою, що заявляється.

У даному прикладі використане основне надзвукове сопло 3. Тому для гальмування потоку і перекладу його кінетичної енергії у тиск газовий потік послідовно проходить надзвуковий і дозвуковий дифузори. У першому з них відбувається гальмування потоку в системі ударних хвиль до звукової швидкості, а в другому дифузори до швидкості, необхідної для подальшого транспортування газу. Вибір геометричних параметрів дифузори (вхідних і вихідних перетинів, кутів їхнього розкриття) визначається з умови максимальної ефективності переведення кінетичної енергії потоку в енергію тиску.

Таким чином, у результаті роботи пристрою, газова суміш, що надійшла в нього, розділяється на два потоки. Один - газовий потік, підготовлений до транспорту, і інший - потік рідини.

### Приклад 5

Один з варіантів реалізації пристрою для скраплення і сепарації газів, представлений на Фіг.6, містить послідовно і співвісно встановлені форкамеру 1 з розміщеним у ній засобом 2 для закручення газового потоку, дозвукове сопло 3 із приєднаною до нього робочою частиною 4, до якої у свою чергу приєднаний засіб для відбору рідкої фази 5. На виході сопла 3, за робочою частиною 4, встановлений дозвуківий дифузор 7. У форкамері 1 пристрою встановлене додаткове дозвукове 8, вхід якого постачаний пристроєм 9 регулювання витрати газу через додаткове сопло.

При цьому вхід у додаткове сопло розташований до засобу 2 для закручення газового потоку, а його вихід у дозвуківому основному соплі. Засіб для відбору рідкої фази 5 з'єднано з газорідним сепаратором 10.

Пристрій працює в такий спосіб.

Газова суміш надходить у форкамеру 1, при цьому її основна частина проходить через пристрій, що закручує, 2, а інша частина надходить на вхід додаткового сопла 8 (регулювання витрати здійснюється пристроєм 9). Закручений потік надходить в основне сопло 3, де відбувається його адіабатичне розширення, що супроводжується зниженням тиску і температури. Характеристики дозвуківого сопла 3 (співвідношення площі поперечного перерізу входу до площі мінімального перетину) обрано на підставі розрахунків, таким чином, що на вході в робочу частину 4 досягається статичний тиск і статична температура, які відповідають умові конденсації цільової компоненти, з урахуванням необхідного переохолодження (для створення потрібної кількості центрів конденсації). Далі, закручений потік надходить у робочу частину 4, довжина якої обрана з умов забезпечення росту крапель до розмірів більших 0,5 мк і їхнього дрейфу, під впливом відцентрових сил, до її стінок.

Напрямок частини потоку у вигляді незавихреного струменя через додаткове сопло стабілізує вихровий потік і забезпечує стійкість процесу в пристрої, чим сприяє підвищенню його ефективності.

Вибір у цьому випадку дозвуківого додаткового сопла визначається слабкою інтенсивністю закручення.

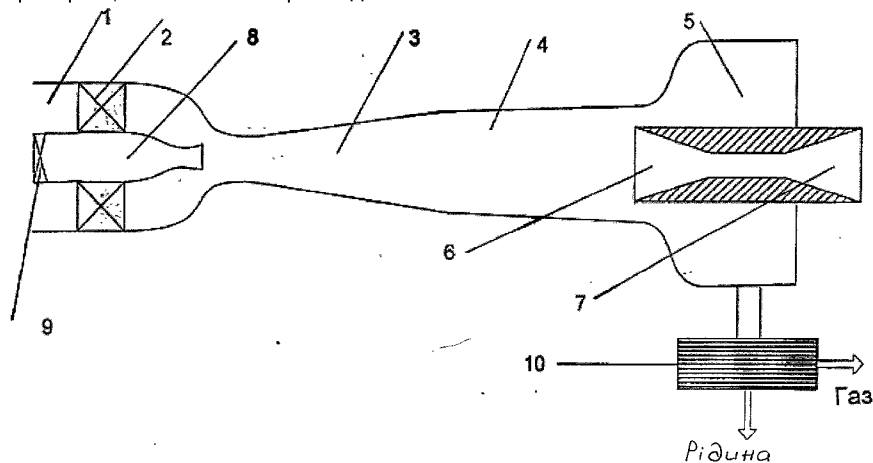
Газорідний потік, що утворився поблизу стінок робочої частини, збагачений цільовою компонентою, надходить у засіб відбору 5 і далі, у газорідний сепаратор 10, а збіднена цільовою компонентою газова суміш, проходить через дозвуківий дифузор 7, виходить із пристрою.

У даному прикладі використане основне дозвуківе сопло 3.

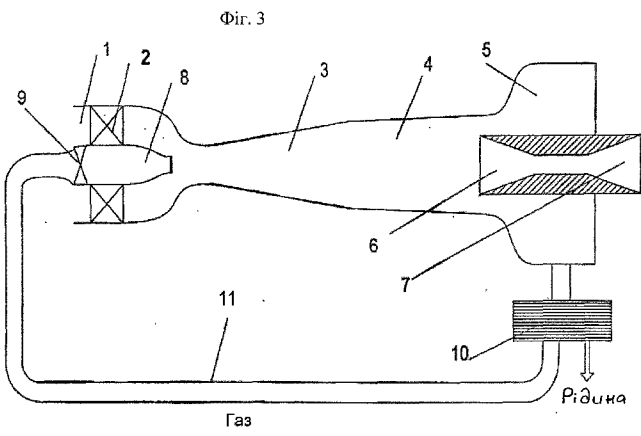
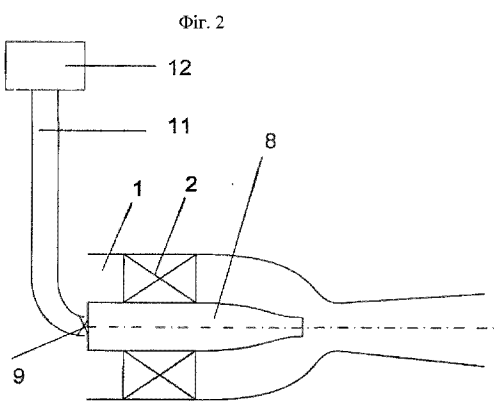
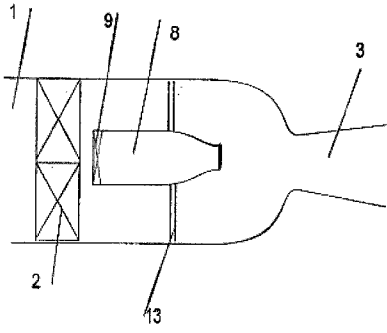
Тому для гальмування потоку і переведення його кінетичної енергії у тиск газовий потік проходить через дозвуківий дифузор 7. У цьому дифузорі швидкість потоку зменшується до швидкості необхідної для подальшого транспортування газу.

Вибір геометричних параметрів дифузора (вхідного і вихідного перетинів, кута розкриття) визначається з умов максимальної ефективності перекаладу кінетичної енергії потоку у енергію тиску.

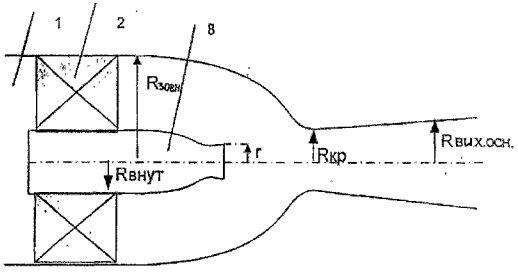
Таким чином, у результаті роботи пристрою, газова суміш, що надійшла в нього, розділяється на два потоки. Один - газовий, очищений від цільового компонента, і інший - газорідний, збагачений цим компонентом, що, наприклад, направляється в газорідний сепаратор 10, де розділяється на газову і рідку фази. Газовий потік з газорідного сепаратора може бути об'єднаний з газовим потоком із пристрою або спрямований на вхід пристрою, як описано в прикладі 4.



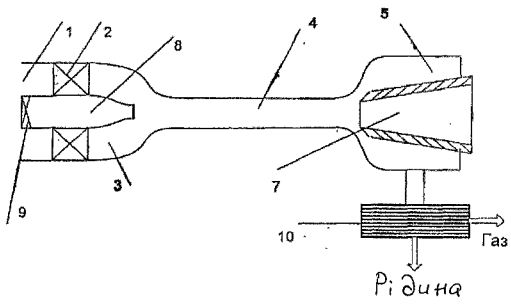
Фіг. 1



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6